



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 62 606 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 07 C 5/08**  
G 01 M 17/00  
B 60 L 3/00  
B 61 L 23/00

②1 Aktenzeichen: 100 62 606.8  
②2 Anmeldetag: 12. 12. 2000  
④3 Offenlegungstag: 13. 6. 2002

DE 100 62 606 A 1

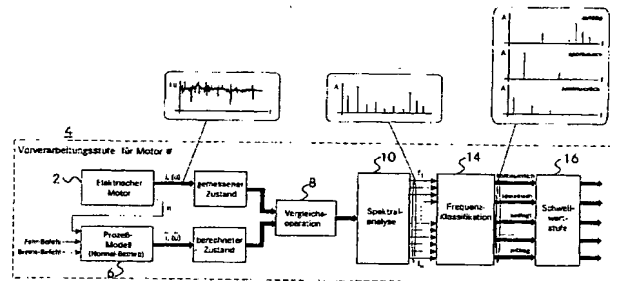
⑦1 Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Kipke, Matthias, 12355 Berlin, DE; Amann, Notker,  
Dr., 13503 Berlin, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren und Einrichtung zum Überwachen des mechanischen Zustands von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen im regulären Fahrbetrieb

⑤7 Beim vorliegenden Verfahren zum Überwachen des mechanischen Zustands von einem mit einem elektrischen Motor (2) angetriebenen Fahrzeug im regulären Fahrbetrieb wird durch Erfassen von wenigstens einer elektrischen Meßgröße des Motors (2) sowie einer modellgestützten Analyse (10) der elektrischen Meßgröße eine Schädigung der Fahrwerksmechanik erkannt. Durch diese Maßnahmen ist eine aufwandsarme Durchführung des Verfahrens gewährleistet. Zusätzliche Sensoren werden nicht mehr benötigt.



DE 100 62 606 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und auf eine Einrichtung zum Überwachen des mechanischen Zustands von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen im regulären Fahrbetrieb.

[0002] Vermehrt aufgetretene Unfälle im Schienenfahrzeugbereich haben zu einem geschärften Sicherheitsbewußtsein geführt und den Bedarf an geeigneten Überwachungseinrichtungen für Schienenfahrzeugkomponenten oder Anordnungen aus diesen deutlich gemacht. Diese Überwachungseinrichtungen haben den zusätzlichen Nutzen, daß die Wartung der Fahrzeuge bedarfsgerecht durchgeführt werden kann. Statt der bislang üblichen periodischen Wartung ist es möglich, die Wartung nur durchzuführen, wenn entsprechende Notwendigkeiten bestehen. Dies senkt die Unterhaltungskosten erheblich.

[0003] Die Überwachungseinrichtungen sollen dazu geeignet sein, die sich bedingt durch mechanische Beanspruchung und mechanischen Verschleiß mit der Zeit ändernden Eigenschaften und Funktionen von Fahrzeugkomponenten zu erkennen und gegebenenfalls Hinweise auf entstehende oder bereits vorliegende Schäden zu geben.

[0004] Für die Erkennung sich anbahnender oder spontan auftretender Schäden an Schienenfahrzeugen und/oder des zugehörigen Gleiskörpers sind beispielsweise aus der DE 198 37 485 A1 Lösungsvorschläge bekannt, bei denen örtlich auf Schienenfahrzeugen verteilt angeordnete Sensoren zum Erfassen des Schwingungsverhaltens von Fahrzeugkomponenten oder Anordnungen aus diesen verwendet werden. Als Fahrzeugkomponenten kommen beispielsweise Radsatz, Lager, Getriebe oder Kupplungen in Betracht.

[0005] Vorwiegend werden dabei Vibrations- oder Geräuschmessungen durchgeführt. Aus DE 198 37 486 A1, DE 198 37 554 A1 und DE 198 37 486 A1 ist der diesbezügliche Einsatz von Beschleunigungsaufnehmern bzw. allgemein Schwingungssensoren bekannt. Die Verwendung von akustischen Sensoren, beispielsweise einem Mikrofon am Drehgestell, ist aus DE 198 31 176 A1 und DE 198 30 685 A1 bekannt.

[0006] Die Signalauswerteverfahren, beispielsweise aus DE 198 37 476 A1 bekannt, basieren im wesentlichen auf einer Auswertung der Schwingungen bzw. der Geräusche in Bezug auf Frequenz und Amplitude. Für die Differenzierung von Stör- und Normalfall ist bekannt, daß Mustervergleichsverfahren angewandt werden, bei denen aktuelle, während des Betriebs erhaltene Muster mit im ungestörten bzw. "Neuzustand" ermittelten Referenzmustern verglichen werden und bei signifikanten Abweichungen zur Alarmauslösung führen.

[0007] Alle bisher bekannten Lösungsansätze für Überwachungseinrichtungen zum Einsatz auf Schienenfahrzeugen basieren somit auf der Verwendung zusätzlicher Sensoren.

[0008] Elektrische Meßgrößen werden nur zur Detektion von Schäden des elektrischen Systems, z. B. Motorschäden wie Stabbruch oder Isolationsschaden verwendet, wie beispielsweise in "Motor mit Zweitfunktion - Elektrische Antriebe als virtuelle Sensoren im Automobil", Gospodaric, D.; Jamandi, H., Carl Hanser-Verlag, München, F & M Jhg. 107 (1999), Nr. 4, Seite 14-18, beschrieben. Es ist üblich, die Motorströme hinsichtlich der Überschreitung von Grenzwerten zu überwachen. Dies führt typischerweise zum Abschalten des betreffenden Motors.

[0009] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum betriebsbegleitenden fortlaufenden Überwachen des Zustandes während des regulären Fahrbetriebs von mittels elektrischen Motoren angetriebenen Schienen-

und/oder Straßenfahrzeugen anzugeben, mit dem Ziel Schädigungen der Fahrzeug- bzw. Fahrwerksmechanik im ganzen bzw. derer Einzel-Komponenten frühzeitig im Entstehungsstadium zuverlässig und aufwandsarm, d. h. weitgehend ohne zusätzliche Sensorik, zu erkennen. Außerdem soll eine Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens angegeben werden.

[0010] Die erstgenannte Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Überwachen des mechanischen Zustands von einem mit einem elektrischen Motor angetriebenen Fahrzeug im regulären Fahrbetrieb, wobei gemäß der Erfindung durch Erfassen von wenigstens einer elektrischen Meßgröße des Motors sowie einer modellgestützten Auswertung der Meßgröße Schädigungen der Fahrwerksmechanik erkannt werden. Das Verfahren ist somit für die Zustandserkennung des Fahrzeugs und der Diagnose sowie der Identifikation von Schäden der Fahrwerksmechanik sowie von deren Komponenten geeignet.

[0011] Die Erfindung nutzt den Effekt, daß sich die Eigenschaften und Funktionen der Fahrzeug- bzw. Fahrwerkskomponenten im regulären Betrieb mit der Zeit aufgrund von mechanischem Verschleiß und/oder mechanischer Überbeanspruchung außerhalb der Spezifikation verändern.

[0012] Diese Veränderungen führen zur fortschreitenden Ausprägung von komponentenspezifischen Modulationen im Drehmoment der das Fahrzeug antreibenden elektrischen Antriebe. Diese Drehmomentmodulationen, welche sich in den Motorströmen abbilden, können über die Motorströme in Form von charakteristischen Störfrequenzanteilen durch geeignete spektrale Auswerteverfahren separiert werden. Für die Spektralanalyse können beispielsweise FFT, Wavelets, Cepstrum oder modellbasierte Frequenzanalysemethoden verwendet werden.

[0013] Die Nutzung ohnehin vorhandener Sensoren, wie z. B. von Strom-, Spannungssensoren oder von Drehzahlgebern, für derartige Überwachungseinrichtungen gewährt eine aufwandsarme Durchführung des Verfahrens. Zusätzliche Sensoren werden nicht mehr benötigt.

[0014] Die Signale über einen langen Zeitraum auszuwerten und mit modellbasierten und zeitgewichteten Methoden auf spezielle Defekte zu untersuchen gewährt zusätzlich eine zuverlässige Durchführung des Verfahrens. Das Verfahren ist sowohl für Schienen- als auch für Straßenfahrzeuge geeignet.

[0015] Vorzugsweise werden für die Schädigungsprädiktion statistische Methoden wie beispielsweise die Zeitreihenanalyse oder die Gradientenentwicklung verwendet.

[0016] Insbesondere können die Frequenzen nach Art ihres Auftretens in kontinuierlich, sporadisch, bedingt oder zufällig für die weitere Bearbeitung mittels Klassifikatoren (Neuronales Netzwerk, NeuroFuzzy) separiert werden.

[0017] In einer weiteren Ausgestaltung werden Schädigungen von nicht kritischen Veränderungen durch Überwachung der Überschreitung komponentenspezifischer Schwellwerte für die detektierten Störfrequenzamplituden bzw. der entsprechenden Gradienten der Amplitudenveränderungen über der Zeit festgestellt.

[0018] Die zweitgenannte Aufgabe wird gelöst durch eine Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens.

[0019] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen wiedergegeben.

[0020] Die Erfindung wird anhand mehrerer Ausführungsbeispiele in den Figur näher erläutert. Es zeigen:

[0021] Fig. 1 einen Ausschnitt aus einem Verfahren zum Überwachen des mechanischen Zustands eines Fahrzeugs in schematischer Darstellung;

[0022] Fig. 2 die Anwendung des Verfahrens in einem Schienenfahrzeug in schematischer Darstellung.

[0023] Fig. 1 veranschaulicht ein Verfahren zum Überwachen des mechanischen Zustands von einem mit einem elektrischen Motor 2 angetriebenen Fahrzeug, beispielsweise einem Schienenfahrzeug oder einem Personenkraftwagen, im regulären Fahrbetrieb mit seinen wesentlichen Funktionselementen in schematischer Darstellung.

[0024] Der elektrische Motor 2 wird als intelligenter Sensor oder Teil eines intelligenten Sensorsystems eingesetzt. In einer Vorverarbeitungsstufe 4, die pro elektrischem Antrieb einmal vorhanden ist, werden zunächst die schadigungsrelevanten Störfrequenzanteile von den für den Normalbetrieb charakteristischen Frequenzanteilen getrennt. Hierzu werden in diesem Ausführungsbeispiel die Ströme  $i$  und gegebenenfalls die Spannungen  $u$  des elektrischen Motors 2, der hier den realen Prozeß repräsentiert, gemessen oder erfaßt und mit den Strom- bzw. Spannungsausgangsgrößen  $\bar{i}$  bzw.  $\bar{u}$  eines Prozeßmodells 6 für den Normalbetrieb verglichen. In nicht weiter dargestellten Ausführungsbeispielen können aber auch andere Meßgrößen des Motors, d. h. wenigstens eine Meßgröße, mit dem vorliegenden Verfahren weiterverarbeitet werden.

[0025] Bei dem Prozeßmodell 6 handelt es sich in diesem Ausführungsbeispiel um ein drehzahladaptiertes Modell (z. B. Störgrößen-Beobachter, Fuzzy, Neuronales Netzwerk oder NeuroFuzzy).

[0026] Die nach Durchlaufen einer Vergleichsoperation 8 verbleibenden Residuen werden einer spektralen Analyse 10 unterzogen, bei der die abgetrennten Störfrequenzanteile z. B. des Motorstrom in einzelne Frequenzanteile  $f_1$  bis  $f_n$  zerlegt werden. Die Einzelfrequenzen werden für die weitere Signalauswertung zunächst in einem Klassifikator 14 bezüglich ihres Auftretens, z. B. kontinuierlich, sporadisch, bedingt, zufällig, für die weitere Bearbeitung mittels weiterer Klassifikatoren, wie Neuronalem Netzwerk oder Neuro-Fuzzy, separiert.

[0027] Die Störfrequenzanteile, die eine Mindestamplitude unterschreiten, werden innerhalb einer Schwellwertstufe 16 abgetrennt, wodurch sich die Robustheit des Verfahrens erhöhen läßt.

[0028] Vorteilhaft benötigt das Verfahren zu seiner Anwendung im Gegensatz zum Stand der Technik keine zusätzlichen Vibrations- oder Akustiksensoren, da die Detektion der Schädigung bzw. der eingetretenen Veränderungen aus den für die Motorregelung mittels elektrischer Motoren angetriebenen Schienen- und Straßenfahrzeugen benötigten und ohnehin verfügbaren Strom- und/oder Spannungsmeßwerten sowie gegebenenfalls der Drehzahlinformation abgeleitet werden.

[0029] Fig. 2 zeigt die Anwendung des Verfahrens am Beispiel eines Schienenfahrzeugs mit zwei mittels elektrischer Motoren angetriebenen Drehgestellen. Die Motoren werden hier nicht explizit dargestellt, sondern werden durch die zwei Vorverarbeitungsstufen 20, 22 repräsentiert.

[0030] Die Differenzierung von Fahrwegs-, Fahrzeugmechanik- und/oder Motorschädigungen erfolgt in einer Korrelationsstufe 24, in der auf die einzelnen separierten Störfrequenzanteile der Antriebe, in diesem Ausführungsbeispiel zwei, Korrelationsfunktionen angewandt werden.

[0031] Eine Schädigung des Fahrwegs z. B. kann durch das sporadische, zeitlich begrenzte Auftreten von Störfrequenzen  $f_{ij}$  identifiziert werden, wobei diese Störfrequenzen  $f_{ij}$  zunächst im ersten Drehgestell des dem Schienenfahrzeug zugeordneten elektrischen Antriebs, repräsentiert über den entsprechenden Motor durch die Vorverarbeitungsstufe 20, detektiert werden und anschließend mit einem zeitlichen Versatz 26, der abhängig von der Entfernung der beiden elektrischen Antriebe untereinander und der Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist, auch im Antrieb des zweiten Drehge-

stells, repräsentiert über den entsprechenden Motor durch die Vorverarbeitungsstufe 22, detektiert werden.

[0032] Schädigungen der Fahrwerksmechanik führen dagegen typischerweise zur Ausbildung kontinuierlich auftretender Störfrequenzen mit unterschiedlichen jedoch mit der Zeit ansteigenden Störfrequenzamplituden. Zur Differenzierung von Radsatz-, Achs- oder Getriebeschädigungen werden außerdem Korrelationen mit der Drehzahl des elektrischen Motors, beispielsweise harmonische Vielfache der Drehfrequenz, ausgewertet.

[0033] Motorschädigungen, z. B. Stabbruch oder Wicklungsschäden, führen zu Störfrequenzanteilen, die in Korrelationen zur Frequenz, z. B. ganzzahlige Harmonische, des speisenden Stromrichters stehen.

[0034] Nach der Vorselektion 28 der Fahrwegs-, Fahrzeugmechanik- und/oder Motorschädigungsbedingten Störfrequenzanteile erfolgt die weitere Differenzierung gestützt auf Defektmodelle 30, für welche ebenfalls Störgrößenbeobachter, Fuzzy, Neuronale Netzwerke oder NeuroFuzzy in Frage kommen.

[0035] In den Defektmodellen 30 werden zu den für die Überwachung relevanten Fahrwerkskomponenten, z. B. Radsatz, Achse, Getriebe, Lager, schädigungstypische Störfrequenzmuster als Referenzmuster implementiert. Jedem dieser Referenzmuster werden Toleranzbereiche zugeordnet, über die Streuungen der Eigenschaften bzw. des Schädigungsverhaltens der überwachten Fahrwerkskomponenten berücksichtigt werden. Darüber hinaus enthalten die Defektmodelle 30 u. a. Informationen über Eintrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen Schädigungen, zu typischen Schädigungsverlaufsmustern und/oder zum zeitlichen Ablauf von Schädigungskombinationen.

[0036] Für die Überwachung der Verschlechterung der spezifizierten Eigenschaften der zu überwachenden Fahrwerkskomponenten oder des Motors werden zum Zwecke der Trendanalyse statistische Auswerteverfahren 32 sowohl auf absolute Störfrequenzamplitudenwerte als auch auf deren Gradienten angewandt.

[0037] Zur Absicherung der Schädigungsprognose werden in einer Entscheidungslogikeinheit 34 die Ausgangsinformationen nach der statistischen Auswertung mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten der prognostizierten Schädigung verglichen und gewichtet sowie hinsichtlich des Vorhandenseins von Schädigungskombinationen oder möglichen Schadensüberdeckungen gestützt auf die Defektmodelle 30 untersucht.

[0038] In einer nachgeschalteten Schwellwertstufe 36 werden die differenzierten komponentenbezogenen ermittelten Schädigungen hinsichtlich ihres Schädigungsgrades bewertet, um spezifische Aktionen 38, wie Meldungen, Warnungen, Alarmer oder Systemstillsetzungen, auszulösen. Schädigungen können von nicht kritischen Veränderungen durch Überwachung der Überschreitung komponentenspezifischer Schwellwerte für die detektierten Störfrequenzamplituden bzw. der entsprechenden Gradienten der Amplitudenveränderungen über der Zeit festgestellt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen des mechanischen Zustands von einem mit einem elektrischen Motor (2) angetriebenen Fahrzeugs im regulären Fahrbetrieb, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch Erfassen von wenigstens einer elektrischen Meßgröße des Motors (2) sowie einer modellgestützten Analyse (10) der elektrischen Meßgröße eine Schädigung der Fahrwerksmechanik erkannt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet

net, daß als elektrische Meßgröße der Motorstrom  $i$  erfaßt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als elektrische Meßgröße die Motorspannung  $u$  erfaßt wird.

5

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich als elektrische Meßgröße der Drehzahlmeßwert erfaßt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß motor-, fahrwerkmechanik- und/oder fahrstreckenbezogene Störungen bzw. entstehende Fehler durch Anwendung von Korrelationsfunktionen unterschieden werden.

10

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Prozeßmodell (6) ein drehzahladaptiertes Modell für den Normalbetrieb verwendet wird.

15

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß schädigungstypische Störfrequenzmuster als Referenzmuster durch ein Defektmodell (30) implementiert werden.

20

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß für die Schädigungsprädiktion statistische Methoden für eine Trendanalyse eingesetzt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenzen der elektrischen Meßgrößen nach Art ihres Auftretens in kontinuierlich, sporadisch, bedingt oder zufällig für eine weitere Bearbeitung separiert werden.

25

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß Schädigungen von nicht kritischen Veränderungen durch Überwachung der Überschreitung komponentenspezifischer Schwellwerte für die detektierten Störfrequenzamplituden bzw. der entsprechenden Gradienten der Amplitudenveränderungen über der Zeit festgestellt werden.

30

35

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Motor (2) als intelligenter Sensor oder Teil eines intelligenten Sensorsystems in Schienen- und Straßenfahrzeugen verwendet wird.

40

12. Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

45

50

55

60

65

FIG 1

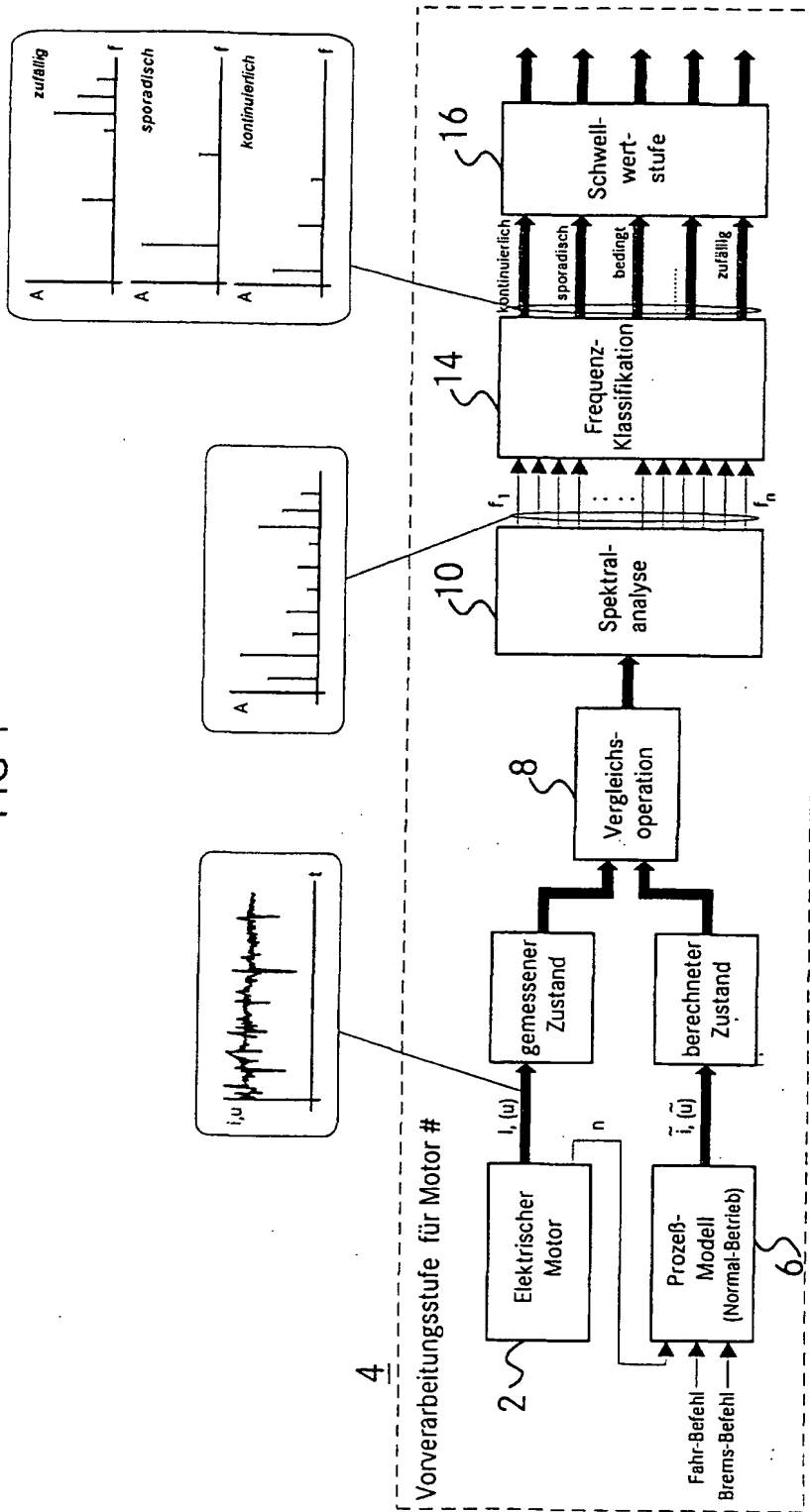
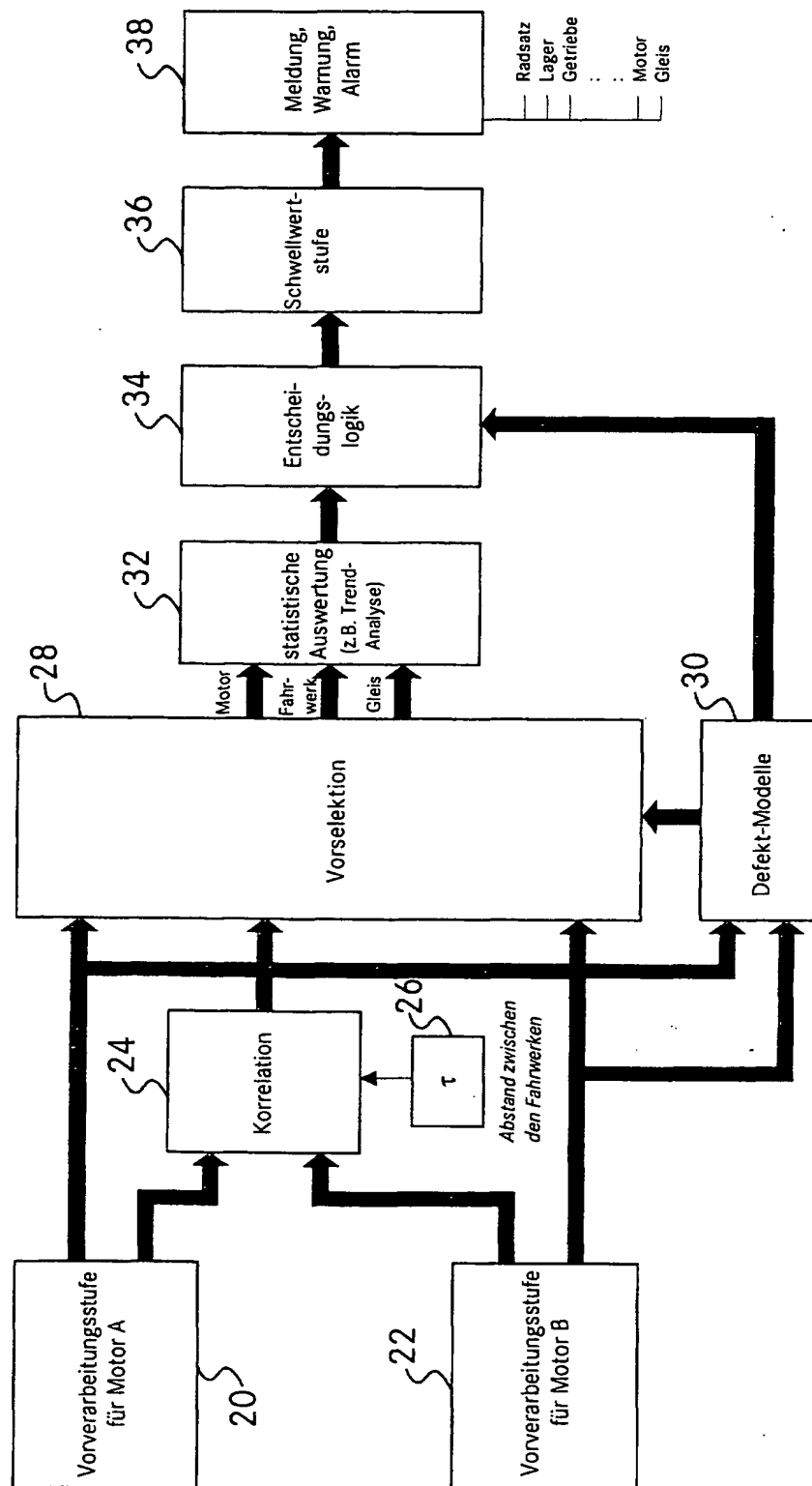


FIG 2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**